

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-75713

(43)公開日 平成8年(1996)3月22日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 1 N 29/20

G 0 1 B 17/02

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

Z

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 16 頁)

(21)出願番号 特願平7-161056

(22)出願日 平成7年(1995)6月27日

(31)優先権主張番号 特願平6-152506

(32)優先日 平6(1994)7月4日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000004123

日本鋼管株式会社

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号

(72)発明者 奥野 隆一

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(72)発明者 飯塚 幸理

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(72)発明者 前田 孝三

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(74)代理人 弁理士 佐々木 宗治 (外3名)

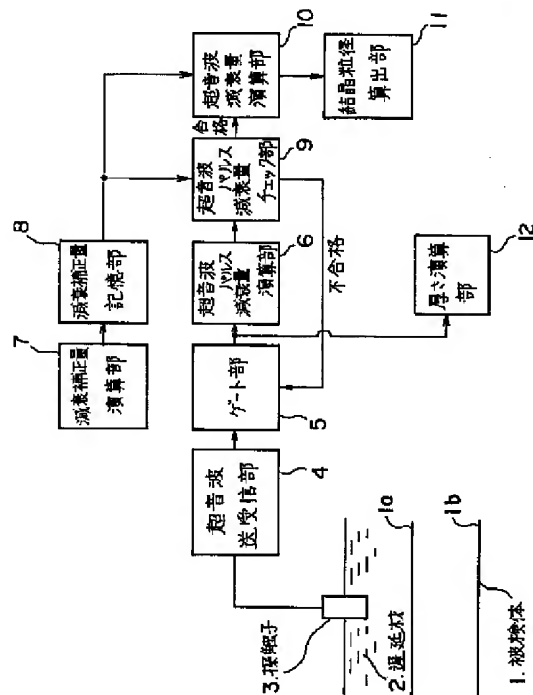
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 超音波による被検体の結晶粒径測定方法及び装置並びにそれを利用した熱処理方法及び装置

(57)【要約】

【目的】 被検体の結晶粒径を高精度に測定することを可能にした超音波による被検体の結晶粒径測定方法及び装置並びにそれを利用した鋼帯等の熱処理方法及び装置。

【構成】 被検体の超音波散乱減衰の周波数特性を求め、この超音波散乱減衰の周波数特性に、レーリー散乱式を適用することにより被検体の結晶粒径を求める方法及び装置において、レーリー散乱式を適用する際にその散乱減衰項のみを用い、そして、超音波散乱減衰量の近似する周波数範囲を、被検体底面の反射エコーのうち、2番目の反射エコー周波数特性におけるピーク周波数と、ピークの半減値をとる2つ周波数の2つの値のうち高周波側の周波数との間に設定する。又、このような装置を熱処理炉の前後に配置してその測定結果に基づいて熱処理炉の燃焼・板速度を制御することにより均一な結晶粒径の鋼帯を製造する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被検体に超音波パルスを送波し、被検体の底面からの多重反射エコー列の内、2つの反射エコーをそれぞれ周波数解析し、減算することにより超音波パルスの減衰による周波数特性を求め、この周波数特性に所定の補正処理を施すことにより、被検体の超音波散乱減衰の周波数特性を求め、この超音波散乱減衰の周波数特性に、レーリー散乱式を適用することにより被検体の結晶粒径を求める方法において、

レーリー散乱式を適用する際にその散乱減衰項のみを用い、そして、超音波散乱減衰量の近似する周波数範囲を、被検体底面の反射エコーのうち、2番目の反射エコーの周波数特性におけるピーク周波数と、ピークの半減値をとる2つの周波数の2つの値のうち高周波側の周波数との間に設定したことを特徴とする超音波による被検体の結晶粒径測定方法。

【請求項2】 前記2つの反射エコーによる超音波散乱減衰量が測定許容レベルに満たない場合には、被検体の多重反射エコー列から測定許容レベルを満たす2つの異なる底面反射エコーを自動的に選択することを特徴とする請求項1記載の超音波による被検体の結晶粒径測定方法。

【請求項3】 被検体表面からの反射エコーと被検体底面からの反射エコーとの時間差を測定し、その時間差に基いて被検体の厚さ測定を行うことを特徴とする請求項1又は2記載の超音波による被検体の結晶粒径測定方法。

【請求項4】 被検体は鋼板又は鋼帯であることを特徴とする請求項1、2又は3記載の超音波による被検体の結晶粒径測定方法。

【請求項5】 被検体に超音波パルスを送波し、反射波を受信する超音波送受信手段と、この超音波送受信手段の出力に含まれる被検体の底面からの多重反射エコー列の内、2つの反射エコーを抽出するゲート手段と、前記2つの反射エコーをそれぞれ周波数解析し、減算することにより超音波パルスの減衰による周波数特性を求め、この周波数特性に所定の補正処理を施すことにより被検体の超音波散乱減衰の周波数特性を求め、この超音波散乱減衰の周波数特性にレーリー散乱式の散乱減衰項を適用し、超音波散乱減衰量の近似する周波数範囲を、被検体底面の反射エコーの周波数特性におけるピーク周波数と、ピークの半減値をとる2つの周波数の2つの値のうち高周波側の周波数との間に設定してその係数を求め、その係数に基いて被検体の結晶粒径を求める結晶粒径演算手段とを有することを特徴とする超音波による被検体の結晶粒径測定装置。

【請求項6】 前記2つの反射エコーによる超音波散乱減衰量が測定許容レベルに満たない場合には、測定許容レベルを満たす2つの異なる反射エコーが得られるま

で、前記ゲート手段を制御して反射エコーを選択する超音波減衰量演算手段を有することを特徴とする請求項5記載の超音波による被検体の結晶粒径測定装置。

【請求項7】 前記探触子が固定された固定治具と、水平方向に回転自在なフレキシブルジョイントを介して前記固定治具に接続された3つ以上の車輪とを有し、鎖又はバネ部材により定位置に固定することを特徴とする請求項5又は6記載の超音波による被検体の結晶粒径測定装置。

【請求項8】 前記探触子は、高分子材料から構成され、中心周波数強度より6dB低下した強度に対する上下の周波数差が中心周波数の80%以上の特性を有するものであることを特徴とする請求項5、6又は7記載の超音波による被検体の結晶粒径測定装置。

【請求項9】 被検体は板又は鋼帯であることを特徴とする請求項5、6、7又は8記載の超音波による被検体の結晶粒径測定装置。

【請求項10】 焼鈍炉の後段に請求項9記載の超音波による被検体の結晶粒径測定装置を有することを特徴とする鋼板又は鋼帯の連続焼鈍装置。

【請求項11】 熱延又は冷延の鋼板又は鋼帯の連続熱処理工程において、熱処理前の鋼板又は鋼帯について請求項1及び請求項3記載の方法により超音波散乱減衰量及び被検体の厚さを測定し、更に、熱処理後の鋼板又は鋼帯について請求項1又は2及び請求項3記載の方法により、被検体の結晶粒径及び厚さを測定し、これらの測定値に基づいて、熱処理後の鋼板又は鋼帯の結晶粒径が所定の範囲の値となるよう熱処理炉の炉内温度及び／又は鋼板若しくは鋼帯の通板速度を制御することを特徴とする鋼板又は鋼帯の熱処理方法。

【請求項12】 熱延又は冷延の鋼板または鋼帯の熱処理炉の前後に設置された請求項4乃至請求項8のいずれか一項記載の超音波による被検体の結晶粒径測定装置と、熱処理炉の炉内温度測定装置と、鋼板又は鋼帯の通板速度測定装置と、熱処理炉の炉内温度及び／又は鋼板若しくは鋼帯の通板速度制御装置とを有し、更に、前記結晶粒径測定装置からの結晶粒径及び板厚信号と、熱処理炉の炉内温度信号と鋼板又は鋼帯の通板速度信号とに基づいて演算を行い、熱処理後の鋼板又は鋼帯の結晶粒径が所定の範囲の値となるよう熱処理炉の炉内温度及び／又は鋼板若しくは鋼帯の通板速度制御装置を作動させる信号を発生する演算装置を有することを特徴とする鋼板又は鋼帯の熱処理装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【産業上の利用分野】本発明は、被検体の超音波減衰の周波数特性を計測し、その特性に基いて結晶粒径を測定する超音波による被検体の結晶粒径測定方法及び装置、並びにそれらを利用した鋼板又は鋼帯の熱処理方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば金属材料の超音波探傷や超音波厚さ測定においては、被検体内を伝搬する超音波はその伝搬過程において被検体内の結晶粒界の影響を受けて散乱する。この散乱の度合は、結晶粒径が大きい程大きく、結晶粒径が小さい程小さい。そこで、この結晶粒界の散乱の度合を測定することにより結晶粒径を求めることができる。また、結晶粒径は材料の強度をはじめとして様々な材料特性と密接な関係を持っているので、結晶粒径を求めることにより材料特性を評価することができるため、結晶粒径を精度良く求めることは、工業的に極めて重要である。

【0003】従来、数々の超音波による被検体の結晶粒

$$\alpha(f) = s \cdot D^3 \cdot f^4 + c \cdot f \quad \dots (1)$$

ここで、第一項は結晶粒による散乱減衰を、第二項は材料中でのエネルギー吸収を表している。このように表される超音波減衰量を、前記で求めた超音波の減衰量に近似させることにより理論式中の結晶粒径Dを求めることができる。

【0005】ここで前記の超音波拡散減衰量を求める方法としては、予め超音波減衰量が測定されている対比試験片を用いて測定する方法と、遠距離音場での超音波拡散減衰量が距離の対数にほぼ比例するという関係を利用する方法とがある（日本非破壊検査協会規格、NDIS 2415-87、超音波パルス反射法による固体の超音波減衰係数の測定及び表示方法）。しかしながら、対比試験片を用いる方法は、被検体と同じ形状の対比試験片を準備する必要があるので、対比試験片の作成には多大な時間と労力を必要とし、実用的ではない。

【0006】更に、超音波による減衰量の測定は、超音波探触子の音響接触状態によりかなり変化するため、対比試験片と被検体の音響接触状態を同一に揃える必要があり、正確な測定が困難である。また、超音波拡散減衰量を遠距離音場で測定する方法は、探触子径や被検体との距離を適切に選択する必要があり制限が多く、測定の自由度が小さく実用的ではない。また、被検体の超音波減衰量は、ある特定の周波数により定義されているが、実際の超音波パルスは様々な周波数成分を含んでいるので、超音波減衰量の測定方法は理想的な単一周波数の超音波減衰量を表しているものではなく、被検体の超音波減衰量を精度良く求めることはできない。

【0007】このような不都合を解決するために、超音波拡散減衰と被検体表面での減衰及び超音波の周波数を考慮して被検体の超音波減衰量を求める方法が提案されている（特開昭58-160865号公報）。この方法においては、超音波パルスを被検体に印加して、被検体からの3個以上の超音波エコーを検出し、各超音波エコーを周波数解析し、3つの周波数特性上における3周波数における各超音波減衰量から、超音波拡散減衰の周波数特性と被検体表面での減衰の周波数特性を考慮して、

径測定方法が提案されている。例えば、超音波探触子をバッファ等の遅延材を介して被検体表面に取付け、被検体に対して超音波パルスを送信し、被検体表面で反射される表面（S）エコーと被検体底面で何回も多重反射される底面（B）エコーの強度が減衰していく度合からエコーの減衰量を求める。そして、その超音波パルスの減衰量に含まれる超音波拡散減衰を差し引いて、被検体の超音波減衰量を求めている。

【0004】また一般に、被検体中を透過する超音波の減衰量 $\alpha(f)$ は、超音波の波長が被検体中の結晶粒径に比べて大きい場合にはレーリー散乱が成り立ち、以下の（1）式のような理論式で近似される。

被検体の超音波減衰量と超音波拡散減衰量と被検体表面での減衰量とを連立方程式を解くことにより、各々独立して求めている。ここで、被検体の超音波減衰量は周波数の2乗ないしは4乗に比例し、超音波拡散減衰量は周波数のほぼ-1乗に比例し、表面での減衰量は周波数のほぼ1/2乗に比例するという関係を用いている。

【0008】しかしながら、上述の方法（特開昭58-160865号公報）は、超音波拡散減衰の取扱いに関して、あくまでも遠距離音場での近似法であり、得られた計算結果には誤差が含まれている。また、被検体での超音波減衰に関しても減衰の要因として様々な要因があるが、散乱減衰だけを考慮したものである。そして、被検体表面での減衰についても必ずしも周波数の1/2乗に比例するものばかりでなく様々なものが含まれ、計算結果には誤差が含まれる。このため、この方法においても被検体の超音波減衰量を精度良く求めることは不可能である。

【0009】このような問題点を解決するために、特開平5-333003号公報に示すような測定方法が提案されている。これは、被検体の底面での超音波パルスの反射エコーから、被検体透過前と被検体透過後の超音波パルスとして、被検体底面の一回目の底面反射エコー（B1エコー）及び二回目の底面反射エコー（B2エコー）を各々周波数解析し、超音波パルスの減衰の周波数特性を求め、測定系と被検体との位置関係を用いて超音波拡散減衰の周波数特性を算出し、この算出した超音波拡散減衰と被検体境界での超音波減衰と被検体表面での超音波減衰を加算して減衰補正量の周波数特性を算出し、超音波パルスの減衰の周波数特性から前記の算出された減衰補正量の周波数特性を減算して、最終的な被検体での減衰の周波数特性を求めるものである。

【0010】更に、前記の手法により算出された超音波減衰量は、超音波の波長が被検体中の結晶粒径に比べて大きい場合にはレーリー散乱が成り立つことから、以下のような理論式で近似できる。

$$\alpha(f) = s \cdot D^3 \cdot f^4 + c \cdot f$$

この近似式 $\alpha(f)$ を前記の算出された超音波減衰量にフィッティングすることにより、被検体の結晶粒径を求めることができる。また、前記の近似式 $\alpha(f)$ を超音波減衰量にフィッティングする周波数範囲は、算出された超音波散乱減衰量の周波数特性の状態を測定を行う者が測定を繰り返す度に観察し、範囲を決定している。なお、被検体と探触子の位置関係は、測定は研究室など測定環境の良好な場所で、被検体と探触子は距離を一定とし水平に調整を行った後は固定させた状態にする。

【0011】

【発明が解決しようとする問題】前記の測定方法（特開平5-333003号公報）を、被検体が絶えず連続して流れるような圧延や熱処理ラインのようなオンラインに適用する場合には、被検体のたわみやうねり等の変動や外部飛来電気ノイズに対して測定精度の確保や、保守メンテナンスの簡便さが必要である。例えば、探触子の振動子はある有限な面積を有し、超音波の送受信はこの振動子面全体で行われる。従って、探触子の振動子面と被検体の表面とを水平に保つことが必要である。しかしながら、オンラインでの測定に際しては、被検体のうねり・たわみ、被検体が移動することによる探触子との水平度の変化、また、被検体の厚さが時間的に変化すること等が挙げられる。また、装置の設置スペースやメンテナンスの容易さを考慮したうえで測定精度の確保を図るためには、従来の技術では以下に示すような問題点が指摘される。

【0012】第一に、被検体の表面と探触子の振動子面との水平度が変動することにより上記に示す超音波散乱減衰量 $\alpha(f)$ の近似多項式のフィッティングでは、測定結果に大きなバラツキを生じてしまう（例えば図17参照）。第二に、連続したオンラインでの自動測定に際しては繰り返し測定が必要であるが、測定者が絶えず超音波散乱減衰量の周波数特性を観察することは不可能であるため、上記の近似多項式及び近似する周波数範囲を一次的に決定する必要がある。第三に、連続したオンラインでの被検体の品質管理においては、被検体の結晶粒径の測定と同時に被検体の厚さを測定することも重要である。このような場合には、超音波厚さ計などの別途のハードウェアを設置する必要がある、過剰設備となってしまう。

【0013】第四に、被検体の結晶粒径を測定するに当たり、一回目の底面反射エコー（B1エコー）と二回目の底面反射エコー（B2エコー）とを各々周波数解析し、その差分を求めることにより超音波パルスが被検体内を往復する間の減衰量を求めるが、連続的に移動する被検体をオンラインにて連続で自動測定する場合には、被検体は肉厚が薄いものから厚いものまで様々であり、被検体の結晶粒径も様々に変化する。ここで、被検体の結晶粒径が一定であるとした場合には、被検体の肉厚が厚くなれば超音波散乱減衰量も大きくなり、B1エコー

とB2エコーの周波数特性の差が大きくなる。また、薄くなれば超音波散乱減衰量も小さくなり振幅の差は小さくなる。一方、肉厚が一定であるとした場合でも、結晶粒径が大きくなればなる程超音波散乱減衰量が大きくなり、周波数特性の差は大きくなる。

【0014】一般にオンラインにおける測定は、被検体の性状の変化により得られる底面多重反射エコーの波形が微妙に変化するため、波形の周波数解析により得られるB1エコー及びB2エコーの周波数特性の状態も微妙にばらつく為、2つの周波数特性の差にも微妙なバラツキを生じる。ここで、波形の周波数解析を行うエコーをB1エコーとB2エコーというように一意的に決定してしまうことは、被検体の肉厚が薄く結晶粒径が小さい場合には超音波散乱減衰量が小さくなり、2つの周波数特性の差が前記の周波数特性のバラツキの範囲に入ってしまう、周波数特性の差分が算出できなくなったり、予め算出しておいた減衰補正量の周波数特性よりも小さくなり、結晶粒径の算出ができなくなるような場合がある。また、被検体の肉厚が大きく結晶粒径が大きい場合には反射回数の多いエコー程、材料の減衰により振幅が小さくなりSN比が悪化してしまい周波数解析に影響を及ぼし、測定精度が悪化してしまう。

【0015】第五に、被検体の動きに対して探触子を固定した場合には、被検体のうねりやたわみによる探触子と被検体表面の水平度の変化により、測定結果に影響を及ぼしてしまう。このような場合には、探触子を固定する治具にセンサー等を取付け被検体表面の状態を監視し、探触子の振動面と被検体表面とを絶えず平行に保つような追従機構を設ける必要がある。

【0016】図18は上述の従来の追従機構を有する測定治具の構成例を示した図である。被検体1と探触子3との間には遅延材3として水20が供給されている。探触子3は固定治具21に固定され、また、この固定治具21には距離センサ22が取り付けられており、被検体1との間の距離が計測されて、被検体表面と探触子との水平度を求める水平度演算装置23に出力される。水平度演算装置23は距離センサ22の出力に基いて所定の演算処理を施し、シリンダー制御装置24に制御信号を送出する。シリンダー制御装置24はその制御信号に基いてシリンダ25のストロークを調整し、固定治具21を被検体1に対して水平に保持することにより、探触子3の振動面と被検体1の表面を水平に保っている。そして、探触子3からの信号が信号ケーブル26を介して取り出される。しかしながら、このような機構を設けることは、治具の構造を大きく、しかも複雑にし、その設置に大きなスペースを必要とし、既存設備の大きな改造を伴うなどの弊害を生じさせる。

【0017】第六に、被検体の底面多重反射エコーから2つの底面エコーを選びだして周波数解析を行う場合には、隣り合うエコーが明確に認識できなければならない。

つまり、底面反射エコーの時間軸方向の波形の数が多いと隣り合う底面反射エコーのそれぞれのエコーの認識が困難となり、測定できる被検体の肉厚が大きくなければならない等の制約を受ける。また、エコーの波形の数が多いことは超音波の送受信を行う探触子の帯域が狭いことになり、その周波数特性に関しても近似多項式をフィッティングできる周波数範囲が狭くなり、測定精度のバラツキが大きくなってしまふ。第七に、測定に使用する探触子の振動子の材質に関して、一般に振動子に圧電素子を用いた探触子は、電気―振動変換効率が悪く感度が低い。従って、底面反射エコーのSN比が悪くなってしまふ傾向にある。また、探触子のサイズが大きくなってしまひ、寿命も短いという問題点がある。

【0018】本発明は、上述の問題点を解決するためになされたものであり、被検体の結晶粒径を高精度に簡便に計測し、或いはそれと共に被検体の厚さを超音波厚さ計等のハードウェアを必要としないで測定することができるようにした超音波による被検体の結晶粒径測定方法及び装置を提供することを目的とする。本発明は、更に、上記の超音波による被検体の結晶粒径測定方法及び装置を使用した鋼板又は鋼帯の熱処理方法及び装置を提供することを目的とする。

$$\alpha(f) = s \cdot D^3 \cdot f^4$$

【0020】また、本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定方法は、上記の測定方法において、2つの反射エコーによる超音波散乱減衰量が測定許容レベルに満たない場合には、被検体の多重反射エコー列から測定許容レベルを満たす2つの異なる底面反射エコーを自動的に選択する。例えば、B1エコーの周波数特性とB2エコーの周波数特性との差により算出した超音波パルスの周波数特性が上記で定めた周波数範囲において、予め算出された減衰補正量の周波数特性よりも小さくなったり、測定許容レベルに達していない場合には、再度、測定許容レベルを満たす別の2つのエコーを対象に結晶粒径の算出を行う。

【0021】また、本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定方法は、上記の測定方法において被検体表面からの反射エコーと被検体底面からの反射エコーとの時間差を測定し、その時間差に基いて被検体の厚さを測定する。例えば、被検体の表面で反射するエコーの始点と、被検体の底面で反射するエコーの始点の時間差を測定し、その時間差と予め記憶させた被検体の音速とに基いて、被検体の厚さを測定する。また、本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定方法は、上記の測定方法において、被検体が鋼板又は鋼帯である。

【0022】また、本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定装置は、被検体に超音波パルスを送触子を介して送波し、反射波を受信する超音波送受信手段と、この超音波送受信手段の出力に含まれる被検体の底面からの多重反射エコー列の内、2つの反射エコーを抽出す

【0019】

【課題を解決しようとする手段】本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定方法は、被検体に超音波パルスを送波し、被検体の底面からの多重反射エコー列の内、2つの反射エコーをそれぞれ周波数解析し、減算することにより超音波パルスの減衰による周波数特性を求め、この周波数特性に所定の補正処理を施すことにより、被検体の超音波散乱減衰の周波数特性を求め、この超音波散乱減衰の周波数特性に、レーリー散乱式を適用することにより被検体の結晶粒径を求める方法において、レーリー散乱式を適用する際にその散乱減衰項のみを用い、そして、超音波散乱減衰量の近似する周波数範囲を、被検体底面の2つの反射エコーのうち2番目の反射エコーの周波数特性におけるピーク周波数と、ピークの半減値をとる2つの周波数の2つの値のうち高周波側の周波数との間に設定している。例えば、超音波散乱減衰量 $\alpha(f)$ に近似多項式をフィッティングする周波数範囲を被検体の底面の二回目の反射エコーの周波数特性におけるピーク周波数から-6 dBの範囲における上側の周波数範囲の間に設定する。更に、超音波散乱減衰量 $\alpha(f)$ に近似する多項式を(2)式に示すように定義する。

$$\dots (2)$$

るゲート手段と、2つの反射エコーをそれぞれ周波数解析し、減算することにより超音波パルスの減衰による周波数特性を求め、この周波数特性に所定の補正処理を施すことにより、被検体の超音波散乱減衰の周波数特性を求め、この超音波散乱減衰の周波数特性に、レーリー散乱式の散乱減衰項を適用し、超音波散乱減衰量の近似する周波数範囲を、被検体底面の反射エコーの周波数特性におけるピーク周波数と、ピークの半減値をとる2つの周波数の2つの値のうち高周波側の周波数との間に設定してその式の係数を求め、その係数に基いて被検体の結晶粒径を求める結晶粒径演算手段とを有する。

【0023】また、本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定装置は、上記の測定装置において、上記の2つの反射エコーによる超音波散乱減衰量が測定許容レベルに満たない場合には、測定許容レベルを満たす2つの異なる反射エコーが得られるまで、ゲート手段を制御して反射エコーを選択する超音波減衰量演算部を有する。また、本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定装置は、上記の測定装置において、探触子が固定された固定治具と、水平方向に回転自在なフレキシブルジョイントを介して固定治具にそれぞれ接続された3つ以上の車輪とを有し、複数の車輪が各々の方向を自由に変わることができるよう構成されている。また、本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定装置は、上記の測定装置において、探触子は、高分子材料から構成され、中心周波数強度より6 dB低下した強度に対する上下の周波数差が中心周波数の80%以上の特性になるよ

うな広い帯域を有するものとする。

【0024】また、本発明に係る超音波による被検体の結晶粒径測定装置は、上記の測定装置において、被検体が鋼板又は鋼帯である。また、本発明に係る鋼板又は鋼帯の連続焼鈍装置は、焼鈍炉の後段に上記の被検体の結晶粒径測定装置を有する。

【0025】また、本発明に係る鋼板又は鋼帯の熱処理方法は、熱延又は冷延の鋼板又は鋼帯の連続熱処理工程において、熱処理前の鋼板又は鋼帯について上述の方法により、超音波散乱減衰量及び厚さを測定し、更に、熱処理後の鋼板又は鋼帯について上述の方法により、結晶粒径及び厚さを測定し、そして、これらの測定値に基づいて、熱処理後の鋼板又は鋼帯の結晶粒径が所定の範囲の値となるよう熱処理炉の炉内温度及び／又は鋼板若しくは鋼帯の通板速度を制御する。

【0026】また、本発明に係る鋼板又は鋼帯の熱処理装置は、熱延又は冷延の鋼板又は鋼帯の熱処理炉の前後に設置された上述の被検体の結晶粒径測定装置と、熱処理炉の炉内温度測定装置と、鋼板又は鋼帯の通板速度測定装置と、熱処理炉の炉内温度及び／又は鋼板若しくは鋼帯の通板速度制御装置とを有し、更に、結晶粒径測定装置からの結晶粒径及び板厚信号と、熱処理炉の炉内温度信号と鋼板又は鋼帯の通板速度信号とに基づいて演算を行い、熱処理後の鋼板又は鋼帯の結晶粒径が所定の範囲の値となるよう熱処理炉の炉内温度及び／又は鋼板若しくは鋼帯の通板速度制御装置を作動させる信号を発生する演算装置を有する。

【0027】

【作用】次に、上述の超音波による被検体の結晶粒径測定方法及び装置を用いることによって測定精度が向上する背景について説明する。

《周波数近似範囲について》超音波散乱減衰量 $\alpha(f)$ の算出結果から、どの周波数範囲を用いて(1)式に示す近似多項式をフィッティングさせるかに関しては、フィッティングする範囲はエコーの周波数特性の範囲内で行うものとして、被検体の結晶粒径によっては周波数特性が大きく変動するので、測定値もとに決定する必要がある。最適な周波数範囲は(1)式に示す近似多項式が成り立つ範囲と考えられる。図19は様々な被検体の超音波散乱減衰量 $\alpha(f)$ が周波数の4次関数になっている周波数範囲とB2エコーの周波数特性との関係を調べた結果である。ここで、4次関数になっている周波数範囲は、 $\alpha(f)$ を図20に示すように両対数表示し、傾き4の直線となっている範囲を目視により決定した。図19よりB2エコーの周波数特性のピーク周波数から高周波側の-6dBの周波数の範囲が、ほぼ全ての被検体で4次関数が成り立っている範囲に相当することが分かる。この結果から、結晶粒径算出のための周波数範囲はB2エコーのピーク周波数から高周波側の-6dBの周波数の範囲とすれば良いことが分かる。

【0028】《近似多項式について》図21は、様々な被検体サンプルにおいて、マイクロ写真の顕微鏡により目視で求めた結晶粒径と近似多項式(1)式を超音波散乱減衰量 $\alpha(f)$ にフィッティングして算出した結晶粒径の関係であり、図22は目視粒径と近似多項式(2)式をフィッティングして求めた結晶粒径との関係である。これらの結果からエネルギー吸収項を無視した(2)式を用いても結晶粒径の測定精度に影響を与えないことが分かる。

【0029】《周波数解析を行うエコーの自動選択機能について》特に被検体の結晶粒径が小さくかつ肉厚が小さくなった場合には、超音波散乱減衰量の影響が小さくなるため、B1エコーとB2エコーの振幅の差が僅かとなる。この差がエコーの振幅のバラツキの範囲内に入るとB1エコーとB2エコーの周波数特性の差分を求めても粒径の算出を行うことができなくなってしまう(図23参照)。また、差分の周波数特性が予め算出した減衰補正量の周波数特性よりも小さくなってしまうと同様に粒径の算出ができない。このような場合には、隣り合うエコーよりもB2エコーとB4エコーまたはB3エコーとB6エコーのように超音波散乱減衰量の影響を大きくすることにより、測定精度を確保することが必要である。しかしながら、被検体の結晶粒径が大きかったり、肉厚が大きい場合には、通常のB1エコーとB2エコーとの差分を取るだけで十分である(図24)。そこで、オンラインによる自動測定に関しては、周波数解析を行うエコーを自動的に選択する機能が必要である。

【0030】《厚さ計について》本発明に於いては、周波数解析を行う被検体底面の2つの反射エコーを、図2に示すような、被検体からの多重反射エコー列から選択するゲート設定機能を有する。ゲート設定の過程で被検体底面からの一回目の反射エコーの開始位置を認識する必要があるため、この開始位置と予め認識した被検体表面からの反射エコーの立上がり位置の時間差から、被検体の厚さを容易に求めるとができ、厚さ測定用の別途のハードウェアの設置を必要としない。

【0031】《測定ヘッドについて》通常工場等の圧延ラインや熱処理ラインにおいては、被検体は鋼帯状の形状となり連続的に通板されている。通板中の被検体には微妙なうねり・たわみといった探触子と被検体表面の水平度を乱す要因が存在する。そしてそういった外乱に対しては探触子側で被検体表面の水平度を検知するセンサー等を設置し、また、微妙な被検体の傾きに対して探触子を追従させることのできる追従機構を設ける必要がある(図18参照)。しかしながら、その設置スペース、コスト的に上記のような機能を有する探触子固定治具の設置が困難な場合には、簡便で小型な機構を有する治具が必要である。ここで、後述する図7のように治具に複数の車輪を取付けることにより被検体表面を走行し、かつ車輪と治具本体は水平に回転できるジョイントをもつ

て接続するようにする。これにより、進行方向に対して垂直方向の力が加わっても追従させることが可能となる。また、治具本体が測定点から大きく離れないように測定点と鎖や巻きバネのようなものでつなぎ止めておくようにすることにより、探触子と被検体表面は絶えず水平度を保つように測定治具の走行位置を自由に変えることができるようになる(図8)。

【0032】《探触子の種類について》高分子材料を振動子材料を用いた探触子は、従来のセラミック材料を用いた探触子に比べ、高い超音波周波数領域においては小型軽量であり、電気信号対振動変換効率の点で効率がよく、超音波の送受信において感度が良くSNの点で優れている。また、寿命も長いため有利である。

《探触子の帯域について》本発明においては、被検体の底面多重反射エコー列から、隣り合うB1・B2エコーの周波数解析を行うため、エコー列の波形から周波数解析を行うエコーを的確に抽出しなければならない。このためには、隣り合うエコーの間隔が広いほうが望ましい。つまりエコーの間隔を広くするためには、エコーにおける波数を少なくするほど肉厚の小さな被検体の測定を可能にすることができる。また、超音波散乱減衰量に近似多項式をフィッティングする範囲におけるサンプリングデータ数を多くするほど測定精度のバラツキを抑えることができる。

【0033】本発明においては、焼鈍炉の後段に上述の被検体の粒度測定装置を設けたことにより、焼鈍炉を通過した直後の鋼帯の板厚方向の平均結晶粒径と板厚とを連続的に測定すること可能になり、的確な熱処理が行われたかどうかを判断することができる。これにより、鋼帯全長での結晶粒径による機械的性質の保証が可能となる。また、熱処理不良部が発生した場合には、その不良部を極めて正確に把握することが可能であり、再熱処理時の加熱範囲・温度を的確に決定することができる。

【0034】また、本発明においては、熱処理炉の前後に上述の被検体の結晶粒径測定装置が配置されており、熱処理炉に侵入する前の鋼帯の超音波減衰量及び板厚と、熱処理炉を通過した直後の鋼帯の板厚方向の平均結晶粒度及び板厚とを連続的に測定し、その測定情報に基づいて、予め被熱処理材の材質、表面性状子、寸法等によって設定した熱処理炉の炉温及び鋼帯の通板速度の両方、若しくはいずれか一方を補正すれば、熱処理後の鋼帯の結晶粒径が所定の範囲となる。具体的には熱処理炉に侵入する前の鋼帯の板厚方向の超音波の減衰量と板厚の測定値とで熱処理炉の燃焼温度の設定値を補正し、熱処理を通過した直後の鋼帯の板厚方向の平均結晶粒径と板厚とで板温の設定値を補正する。板温の制御は、熱処理炉を通過する鋼帯の板速度を調整して行われるので、結果的に熱処理炉を通過した直後の鋼帯の板厚方向の平均結晶粒径と板厚で板速度の設定値を補正することになる。

【0035】

【実施例】

実施例1. 図1は本発明の一実施例に係る被検体の超音波による結晶粒径測定装置の概略構成を示したブロック図である。被検体1の表面1a上に遅延材2を介して超音波探触子3が取付けられている。遅延材2は厚さ10mm、音速1480m/sの水であり、超音波探触子3は被検体1上を走行できる固定治具(図17参照)に固定されている。そして、この超音波探触子3は公称周波数20MHzの広帯域型である。

【0036】超音波送受信部4は、例えばパルスレーバ等によって構成され、超音波探触子3へパルス信号を送出し、超音波探触子3からのエコー信号を受信し、電気信号に変換してゲート部5へ送出する。ゲート部5は例えば電気信号をアナログからデジタルに変換するデジタルオシロスコープとエコー波形抽出器から構成され、100MHzのサンプリング周波数を有し一つのエコー波形のサンプリング点数は512点であるものとする。そして、図2に示すように、超音波送受信部4からの電気信号に含まれる被検体1の底面1bで反射された底面(B1)エコーと、底面で反射しかつ被検体表面で反射し再び底面で反射した底面(B2)エコーとを抽出する。エコーの具体的な抽出方法は、被検体の表面反射(S)エコーとB1エコーとの間と、B1エコーとB2エコーの間には一定の信号レベルが検出されない部分が存在するため、この部分をもって各々のエコーを分離して抽出している。読み取られた各エコーデータは次の超音波パルス減衰量演算部6へ送出される。

【0037】超音波パルス減衰量演算部6は、例えばFFT(高速周波数変換装置)を内蔵しており、図3に示すように、入力されたB1エコーとB2エコーの周波数特性を算出し、図4に示すように各周波数特性の各周波数 f における差で示される超音波パルスの減衰 α_m

(f)の周波数特性を算出する。被検体補正量演算部7は、被検体1の境界面での超音波減衰と超音波ビームの広がりによる拡散減衰とを算出し、各減衰量を加算して減衰補正量 $\alpha_c(f)$ を算出する。算出された減衰補正量 $\alpha_c(f)$ は次の減衰補正量記憶部8に格納される。なお、図5は算出された減衰補正量 $\alpha_c(f)$ の周波数特性であり、図4は測定に基いて算出された超音波パルスの減衰量 $\alpha_m(f)$ の周波数特性である。

【0038】超音波減衰量チェック部9は、測定により算出された超音波パルスの減衰量によって粒径算出ができるかどうかをチェックする。具体的には、この次に行われる超音波散乱減衰量の算出に際して、前述の超音波パルスの減衰量 $\alpha_m(f)$ と減衰補正量 $\alpha_c(f)$ との差を算出するが、超音波パルスの減衰量 $\alpha_m(f)$ がB2エコーの周波数特性におけるピーク周波数から高周波数側に-6dBの周波数範囲において減衰補正量 α_c

(f)よりもレベルが低い場合には、超音波散乱減衰量

が小さいために粒径の算出ができないものと判断し、演算をやり直す機能を有する。やり直す場合には、ゲート部5にてB2エコーとB4エコーを抽出し、再度、超音波パルスによる減衰量 $\alpha_m(f)$ を算出する。そして、減衰補正量記憶部8に格納されているB2・B4エコーにおける減衰補正量 $\alpha_c(f)$ から粒径算出が可能かどうかをチェックする。また、これで駄目ならば再度B3・B6エコーを抽出し前述の処理を繰り返す。

【0039】超音波減衰量チェック部9によって粒径算出可能と判断された場合には、超音波減衰量演算部10に処理が進む。ここでは、超音波パルスの減衰量 $\alpha_m(f)$ から減衰補正量 $\alpha_c(f)$ を減算し、図6に示されるような被検体1の散乱減衰による減衰量 $\alpha(f)$ の周波数特性を算出する。結晶粒径算出部11は、超音波減衰量演算部10によって算出された超音波散乱減衰量 $\alpha(f)$ に前述の(2)式で定める近似多項式を前述の周波数範囲においてフィッティングする。この結果(2)式の係数 $s \cdot D^4$ が求まり、係数の s は予め構成により既知であるため、結晶粒径 D を求めることができる。この時 s は0.8324であった。

【0040】厚さ演算部12は、記憶装置を内蔵して被検体1の音速を記憶しておき、ゲート部5からのエコーの内、被検体1の表面で反射したエコーの始点と、被検体1の底面で反射したエコーの始点との時間差を計測し、その時間差と被検体1の音速に基いて、被検体1の厚さを連続的に測定する。

【0041】図7は図1の超音波探触子の追従機構を有する測定治具の構成例を示した図であり、同図の(A)は側面図、(B)は正面図である。固定治具21には探触子3が取り付けられ、更に、複数(例えば3個又は4個)の車輪30がそれぞれジョイント31を介して取り付けられている。このジョイント31は水平に回転できる機構からなっており、従って、各車輪30はその進行方向が可変できるように支持されている。そして、探触子3が測定点から離れないようにするために、固定治具21を鎖32でつなぎ止めており、探触子3の振動子面と被検材1の表面とが絶えず水平度を保つように測定治具の走行位置を自由に変えることができるようになっている。

【0042】図8は図7の動作説明図であり、同図(A)は側面から見たとき、被検材1の表面が凹部を形成している場合の動作を示し、同図(B)は正面から見たとき、被検材1の表面が凸部を形成している場合の動作を示している。いずれの場合においても、探触子3の振動子面と被検材1の表面とが平行になっていることが分かる。

【0043】図9及び図10は上述の実施例の測定装置を薄板の連続焼鈍酸洗ラインに適用し、連続して通板される被検体の結晶粒径を連続的に測定したときの測定結果を示した図である。図9においては、通板速度は20

m/minであり、被検体の肉厚は1.5mmであった。この場合、結晶粒径の大きさは焼鈍炉の炉温及び焼鈍回数により異なるため、被検体のロット毎に異なる粒径値となり、測定値もこれに準じていることが分かる。

【0044】また、図10においては、被検体1である板の厚さが急激に変わることにより、焼鈍炉の炉温が一定の場合被検体が厚くなることにより被検体の熱容量が大きくなり結晶粒の成長が小さくなるため結晶粒径値が小さくなり、その後、炉温を上昇させるために結晶粒径の測定値が大きくなっていく様子が観察できる。図11は上記のラインにおいて、厚さ演算部12により被検体の厚さを連続的に測定した結果を示した図である。この測定結果によれば、通板する被検体の厚さが変化している様子が観察できる。

【0045】実施例2. 図12は本発明の他の実施例に係る連続焼鈍炉の構成を示すブロック図である。ずにおいて、21は鋼帯、22は熱処理炉、23は冷却装置、24はブライドルロール、25は結晶粒径測定装置、26は酸洗装置、29a, 29b, 29cは燃焼バーナー30a, 30b, 30cは炉内温度計、31は板温計、32は板速度計、33a, 33b, 33cは流量調節弁、34a, 34b, 34cは燃料流量調節計、35a, 35b, 35cは温度調節計、36は板温調節計、37は板速度調節計、38は演算制御装置である。ここで用いられている結晶粒径測定装置25は上述の実施例1(図1、図7)の結晶粒径装置であり、冷却装置23の下流側に配置され、熱処理画が終了した直後の鋼帯21の板厚方向の平均結晶粒径と板厚とを連続的に測定する。

【0046】図13は結晶粒径測定装置25による結晶粒径の測定結果を示した図である。同図(A)は通常操業部、同図(B)は焼鈍不良が発生した例である。この(B)におけるB1, B2は焼鈍不良が発生した部分である。この2点について再焼鈍処置が施される。その結果、同図(C)に示されるように均一な粒径が得られている。

【0047】以上のように本実施例によれば、従来まで認知されていなかった、僅かな焼鈍不良が認知されるようになり、鋼帯中での機械的性質のバラツキを極めて低く抑えることができるようになった。また、明らかな焼鈍不良材についても、従来の全長再熱処理ではなく、不良部のみの再熱処理が可能となり、燃料原単位の低減と鋼帯全長の均質化とが可能となった。このため、設備的にも、従来の様な測定時間捻出のためのループカー等の設備費用が不要となり、非常に経済的であり、また設置も容易になっている。更に、サンプル採取等の手間が不要となり、工程は短縮され、次工程へのコイル推過が円滑に行えるようになった。また、コイルの良品部からのサンプル採取の必要が無くなったため、例えば、板厚2mm、板幅1000mmの鋼帯の場合には、約0.3%

の歩留向上が達成できた。

【0048】実施例3。図14は本発明の他の実施例に係る鋼帯の熱処理装置の構成を示すブロック図である。図において、42は熱処理炉入り側に配置された結晶粒径測定装置であり、これもその構成は上述の実施例1のものと同一である。43は乾燥装置、44はループカー、45は巻き取り装置である。他の構成は実施例2のものと同一である。なお、図14は入り側に配置された結晶粒径測定装置42から出側に配置された結晶粒径測定装置25までの処理ラインを詳細に記載しており、その前後の設備は説明に支障の無い範囲で省略してある。また、熱処理炉22の燃焼制御系統において、実際には鋼帯21の上部と下部に燃焼バーナーと炉内温度計が設置されているが省略してあり、また、実際の流量制御は燃料ガスと空気であるが、空気流量は燃料ガス流量信号を受信して、これに空燃比を演算して得た信号を流量設定信号として制御しているがこれも省略してある。また、流量制御系統において、流量測定信号を流量調節計にフィードバックしているが省略してある。

【0049】まず、鋼帯21の流れを説明する。鋼帯21は入側には位置された結晶粒径測定装置42で熱処理前の板厚及び超音波減衰量を測定し、結晶粒径測定装置42で使用した音響媒質である水を取り除くための乾燥装置43を通過した後、熱処理炉22に入り所定の熱処理が行われる。熱処理炉22を通過した後、冷却装置23に送られ、冷却されて鋼帯21の速度と張力を制御するためのブライドルロール24を通過し、出側に配置された結晶粒径測定装置25で熱処理後の鋼帯21の板厚及び結晶粒径を測定する。そして、酸洗装置26で表面の酸化スケールを除去し、巻き取り装置45で巻き取った後のコイルを切り放すときに連続ラインを停止させないためのループカー44を通過して巻き取り装置45で巻き取られる。

【0050】次に、鋼帯21の結晶粒径を所定の範囲の値にするための熱処理炉22の燃焼制御について説明する。熱処理炉22はA、B、Cの3ゾーンからなり、それぞれ独立した燃焼制御を行っている。制御用計算機38は鋼帯21の鋼種、公称板厚、板幅によって熱処理炉22のゾーンA、ゾーンB、ゾーンCのそれぞれに対して炉内温度と板温を決定し、これらの決定値に基づいて温度調節計35a、35b、35cに温度設定信号を出力する。温度調節計35a、35b、35cは燃料流量調節計34a、34b、34cに流量設定信号を出力し、燃料流量調節計34a、34b、34cは炉内温度計30a、30b、30cのフィードバック信号が設定温度となるように設定信号を増減させる。燃料流量調節計34a、34b、34cは前述の温度調節計35a、35b、35cからの設定信号に基づいて流量調節弁33a、33b、33cに開度信号を出力する。前述の熱処理炉22の燃料制御に加えて、制御用計算機38は鋼

帯21の熱処理炉出側板温を決定し、その決定値に基づいて板温調節計36に板温設定信号を出力する。板温調節計36は板温計31のフィードバック信号が設定温度となるように板速度調節計37への速度設定信号を増減させる。板速度調節計37は板速計32の速度検出信号が設定値となるようにブライドルロール24の駆動系に速度指令を出力する。

【0051】以上は結晶粒径測定情報を反映しない熱処理炉の燃焼制御の説明であるが、ここで入り側に配置された結晶粒径測定装置42と出側に配置された結晶粒径測定装置25の測定値に基づいて熱処理炉22の燃焼制御の補正方法について説明する。結晶粒径測定装置42による鋼帯21の板厚及び超音波減衰量の測定値を制御用計算機38に取り込むと、制御用計算機38は鋼帯21を熱処理した後の目標とする結晶粒径との偏差と、公称板厚と実際の鋼帯21の板厚との偏差を求め、更に、過去の熱処理炉の操業データから得た熱処理前の結晶粒径をもとに予め予測した偏差との差を求める。前述の結晶粒径の偏差の差と公称板厚と実際の板厚との偏差で熱処理炉22のゾーンAの温度設定値に補正を加え、ゾーンBの温度設定値に対しては前記ゾーンAの温度設定値に対する補正係数に0～1の範囲の値を乗算して得られる係数で補正し、更には、ゾーンCの温度設定値に対しては前記ゾーンBの温度設定値に対する補正係数に0～1の範囲の値を乗算して得られる係数で補正する。また、結晶粒径測定装置25による鋼帯21の板厚及び結晶粒径の測定値を制御用計算機38に取り込むと、制御用計算機38は鋼帯21を熱処理した後の目標とする結晶粒径との偏差と、公称板厚と実際の鋼帯21の板厚との偏差を求め、前記結晶粒径の偏差と公称板厚と実際の板厚との偏差で板温調節計36の温度設定値を補正する。

【0052】図15は熱処理炉の燃焼制御に板厚及び結晶粒径測定装置の測定値で補正を加えない場合の熱処理炉入り側と出側の鋼帯の長さ方向の結晶粒径の測定値の変動を示したものであり、図16は熱処理炉の燃焼制御に板厚及び結晶粒径測定装置の測定値で補正を加えた場合の熱処理炉入り側と出側の鋼帯の長さ方向の結晶粒径の測定値の変動を示したものである。但し、入り側の結晶粒径値は超音波減衰量を基に推定した数値である。図15によれば、鋼帯の板厚及び結晶粒径の測定値で熱処理炉の燃焼制御に補正を加えない場合には、熱処理前の鋼帯の長さ方向の結晶粒径の変動は熱処理後にも現れているが、図16によれば、鋼帯の板厚及び結晶粒径の測定値で熱処理炉の燃焼制御に補正を加えた場合には、熱処理前の鋼帯の長さ方向の結晶粒径の変動は熱処理後には現れておらず、その値も所定の範囲の値となっていることが分かる。

【0053】

【発明の効果】以上のように本発明によれば次のような

効果が得られている。

(1) 被検体の超音波散乱減衰の周波数特性を求め、この超音波散乱減衰の周波数特性に、レーリー散乱式を適用してその式の係数を求める際に、レーリー散乱式の散乱減衰項のみを用いているのでその演算が簡単になり、また、超音波散乱減衰量の近似する周波数範囲を、被検体底面の反射エコーの周波数特性におけるピーク周波数と、ピークの半減値をとる2つの周波数の2つの値のうち高周波側の周波数との間に設定したことにより、実際の被検材の性状に応じた適切な測定が可能になっており、従って、測定精度も高く、また、連続測定することができることから、結晶粒径の測定が工場などのライン上でリアルタイムに可能となっている。

(2) 超音波散乱減衰量が測定許容レベルに満たない場合には、被検体の多重反射エコー列から測定許容レベルを満たす2つの異なる底面反射エコーを自動的に選択するようにしたので、測定精度の低下が避けられる。

(3) 被検体表面からの反射エコーと被検体底面からの反射エコーとの時間差を測定し、その時間差に基いて被検体の厚さ測定を行うようにしたので、結晶粒径と同時に被検体の厚さを測定でき、このため、別途に厚さ測定用の装置を必要としない。従って、コイル状の被検体の全長に亘って測定することにより、全長に亘る結晶粒径値及び厚さを知ることができ、機械試験値などの材料特性値を簡単に迅速に知ることができる。

【0054】(4) 探触子が固定された固定治具と、固定治具にそれぞれフレキシブルジョイントを介して接続された複数の車輪とを有し、簡単な機構によって固定治具即ち探触子の振動子面と被検材の表面とを常に平行に保持することができる。

(5) 探触子は、高分子材料から構成されており寿命が長く、中心周波数強度より6 dB低下した強度に対する上下の周波数差が中心周波数の80%以上の広い帯域の特性を有するので、S/Nがよい。

(6) 焼鈍等の熱処理ラインにおいては、従来は炉温の管理を被検体の熱放射率の違いによる放射温度計により管理してため、表面性状の違いによる放射率のバラツキによる炉温のバラツキが大きかったが、本発明を適用することにより材料の結晶粒径から炉温の管理が可能となるため、製品の品質管理・歩止向上に大きく寄与する。

(7) 焼鈍炉の後段に被検体の結晶粒度測定装置を設けて、焼鈍炉を通過した直後の鋼帯の板厚方向の平均結晶粒径と板厚とを連続的に測定するようにしたので、的確な熱処理が行われたかどうかを判断することができ、鋼帯全長での結晶粒径による機械的性質の保証が可能となる。また、熱処理不良部が発生した場合には、その不良部を極めて正確に把握することが可能であり、再熱処理時の加熱範囲・温度を的確に決定することができる。

(8) 熱処理前の鋼帯の結晶粒径が長さ方向に変動していても、連続的に測定された板厚及び結晶粒径の測定値

を使用することによって、きめの細かい熱処理炉の燃焼制御又は板速度制御ができるので、長さ方向に均一な結晶粒径の鋼帯を製造することができ品質の向上が図られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る超音波による被検体の結晶粒径測定装置の概略構成を示したブロック図である。

【図2】図1の実施例における超音波受信エコーの電気信号を示すタイミングチャートである。

【図3】図1の実施例における2つの反射エコー(B1、B2)の周波数特性を示した図である。

【図4】図1の実施例における超音波パルスの減衰量の周波数特性を示した図である。

【図5】図1の実施例における減衰補正量の周波数特性を示した図である。

【図6】図1の実施例における被検体の散乱減衰による周波数特性を示した図である。

【図7】図1の実施例における追従機構を有する測定治具の構成を示した図である。

【図8】図7の追従機構の動作説明図である。

【図9】図1の実施例を薄板の連続焼鈍酸洗ラインに適用して測定した結晶粒径測定例(その1)を示した図である。

【図10】図1の実施例を薄板の連続焼鈍酸洗ラインに適用して測定した結晶粒径測定例(その2)を示した図である。

【図11】図1の実施例を薄板の連続焼鈍酸洗ラインに適用して測定した被検体の厚さ測定例を示した図である。

【図12】本発明の他の実施例に係る連続焼鈍炉の構成を示すブロック図である。

【図13】図1の結晶粒径測定装置による結晶粒径の測定結果を示した図である。

【図14】本発明の更に他の実施例に係る鋼帯の熱処理装置の構成を示すブロック図である。

【図15】熱処理炉の燃焼制御に補正を加えない場合の熱処理炉入側と出側の鋼帯の長さ方向の結晶粒径の測定値の変動を示した図である。

【図16】熱処理炉の燃焼制御に板厚及び結晶粒径測定装置の測定値で補正を加えた場合の熱処理炉入り側と出側の鋼帯の長さ方向の結晶粒径の測定値の変動を示した図である。

【図17】探触子と被検体の水平度の変化による測定結果のバラツキを示した特性図である。

【図18】従来の追従機構を有する測定治具の構成を示した図である。

【図19】フィッティングする周波数範囲の比較を示した図である。

【図20】超音波散乱減衰の両対数を表示した図であ

る。

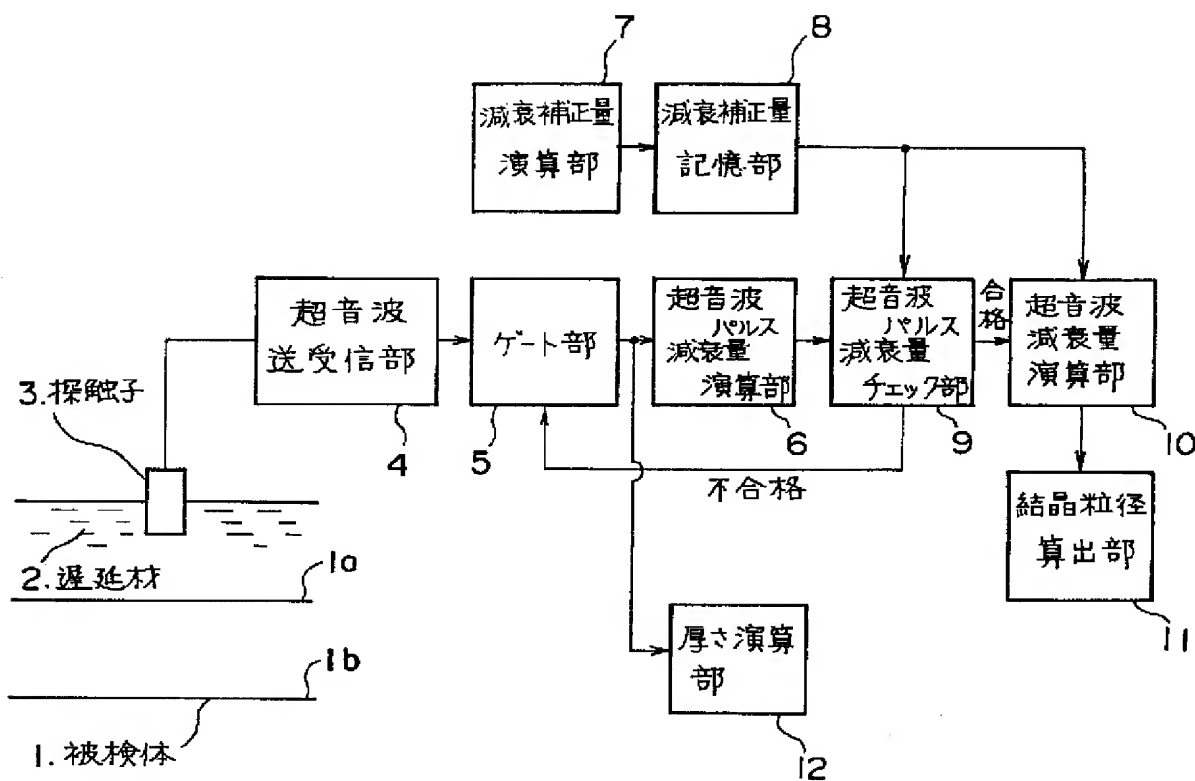
【図21】(1)式による被検体サンプル毎の結晶粒径の測定結果を示した図である。

【図22】(2)式による被検体サンプル毎の結晶粒径の測定結果を示した図である。

【図23】超音波散乱減衰が小さな場合の各エコー波形と周波数特性を示し図である。

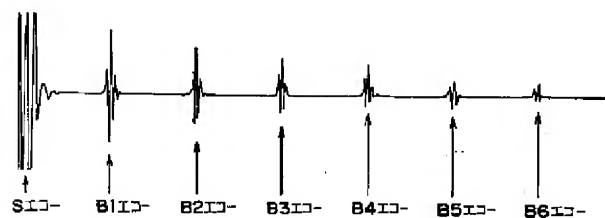
【図24】超音波散乱減衰が大きな場合の各エコー波形と周波数特性を示した図である。

【図1】

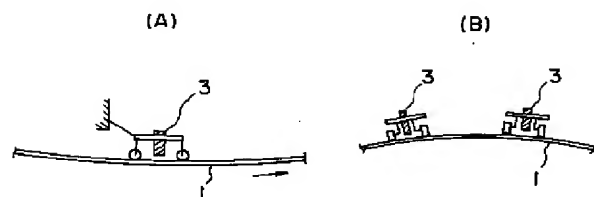
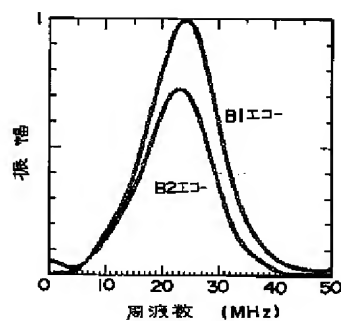


【図2】

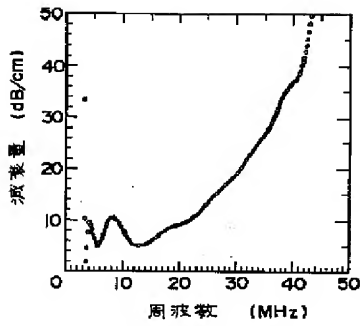
【図3】



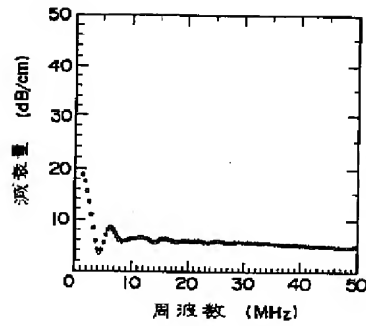
【図8】



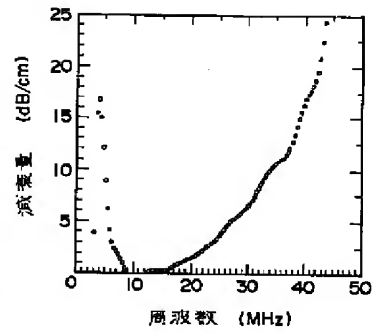
【図4】



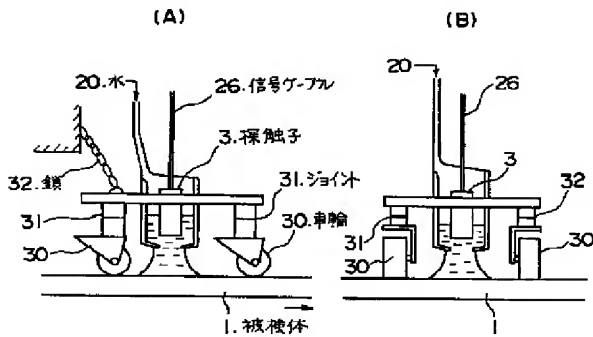
【図5】



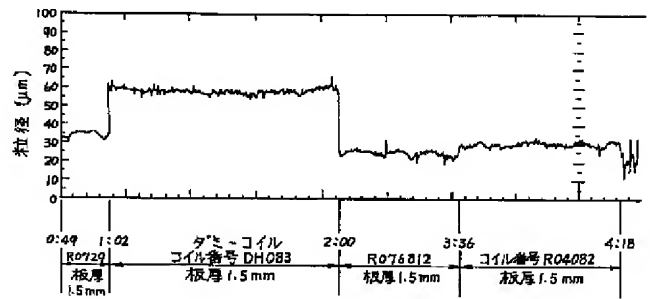
【図6】



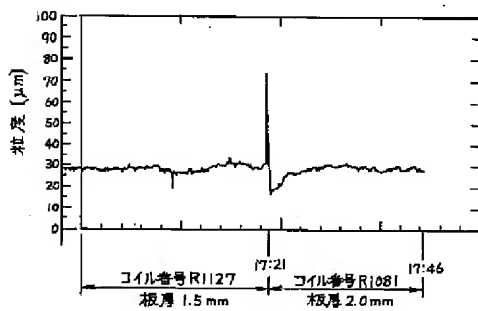
【図7】



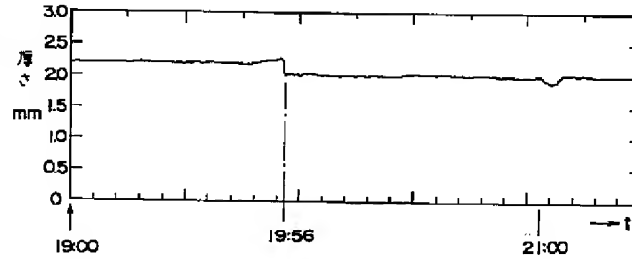
【図9】



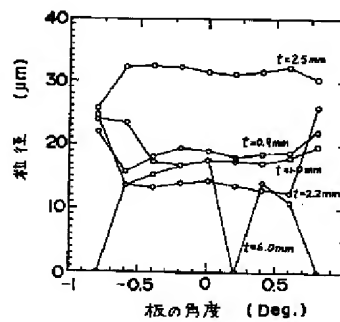
【図10】



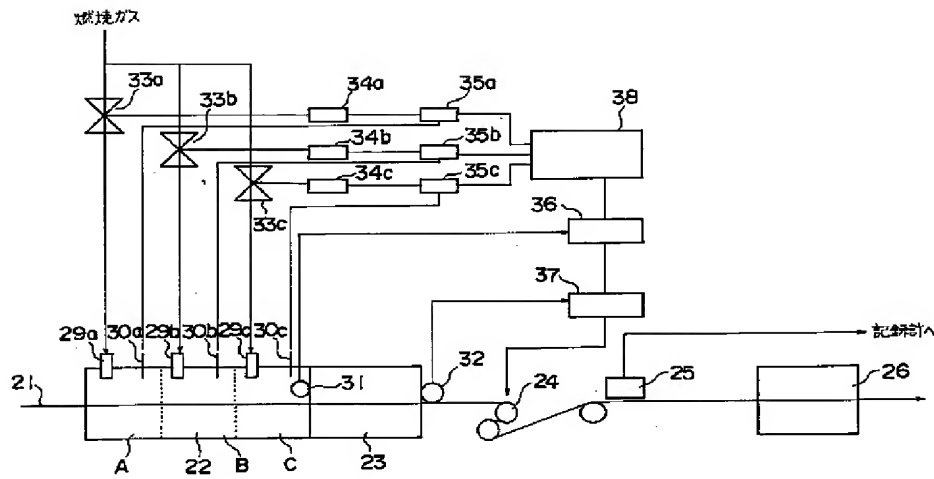
【図11】



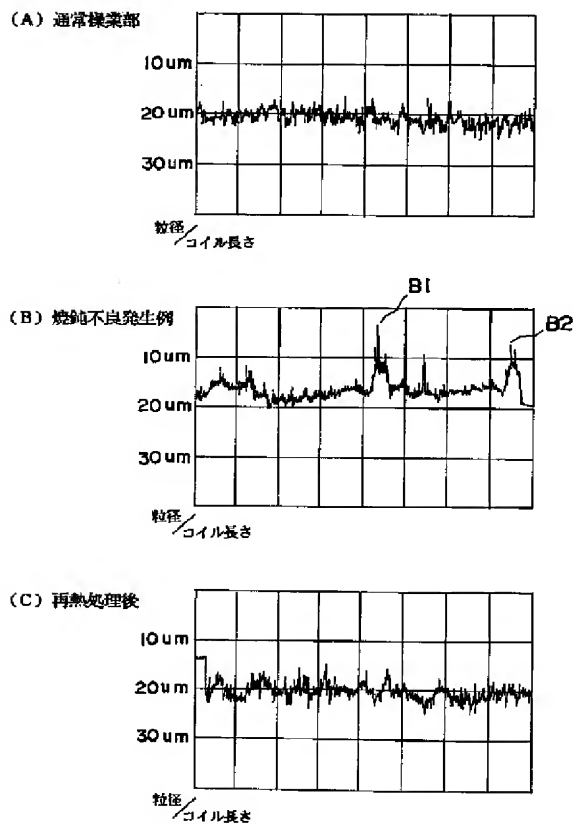
【図17】



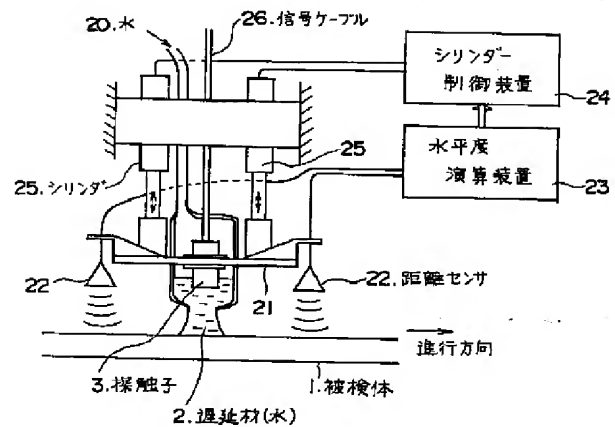
【図12】



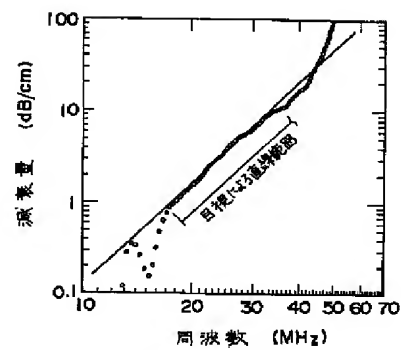
【図13】



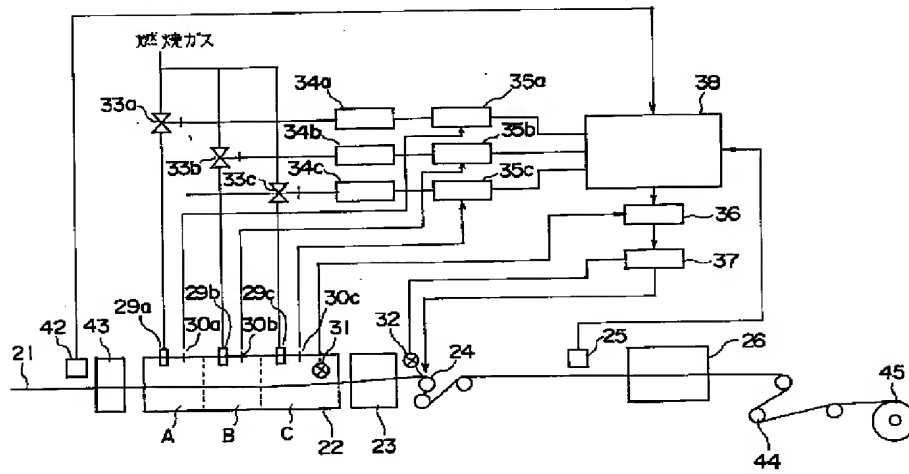
【図18】



【図20】



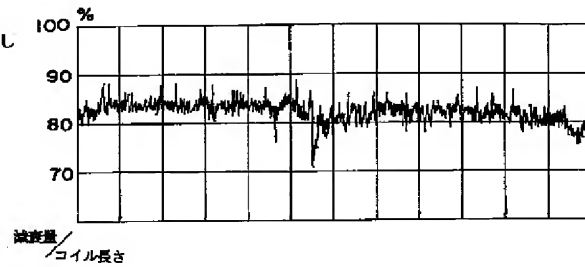
【図14】



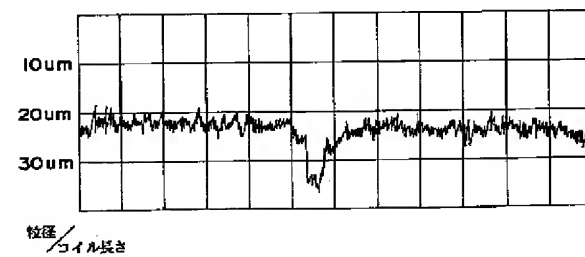
【図15】

熱処理炉入側粒径
データフィードバック無し

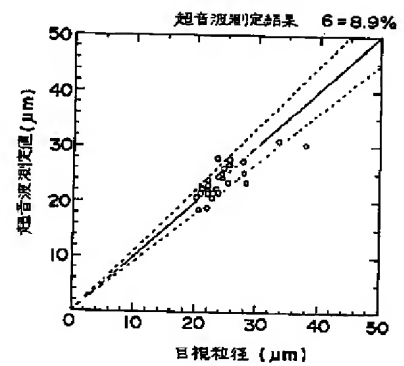
〔熱処理炉入側
超音波減衰量〕



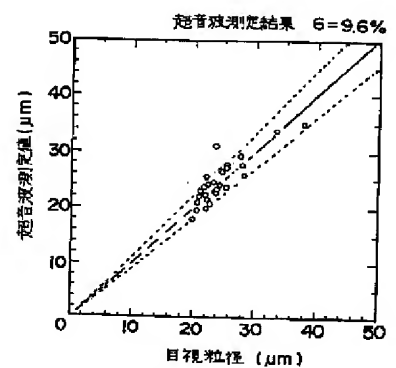
〔熱処理炉出側
粒径〕



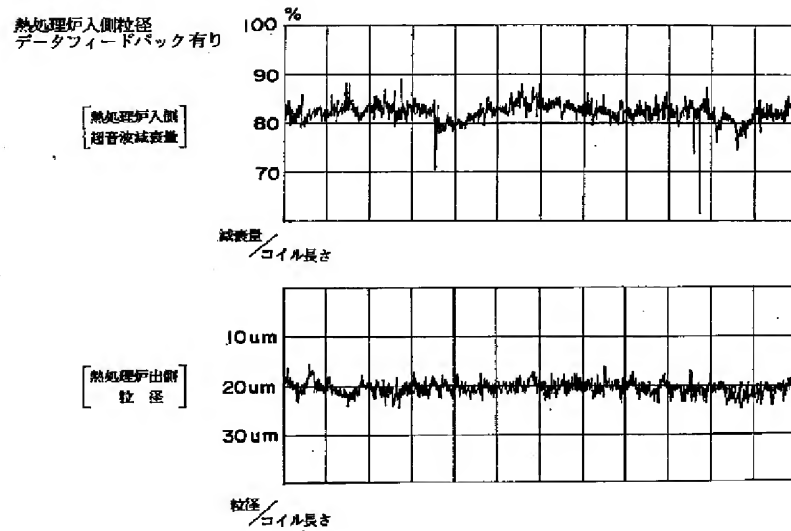
【図21】



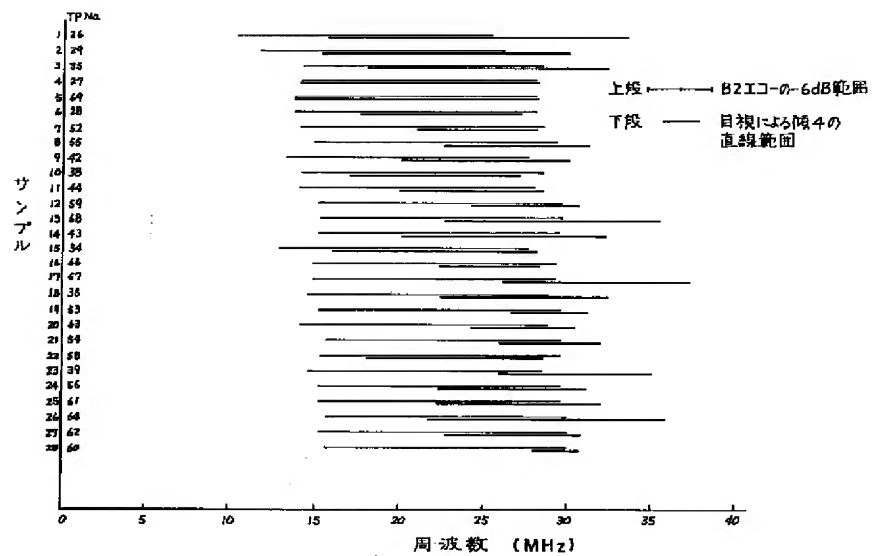
【図22】



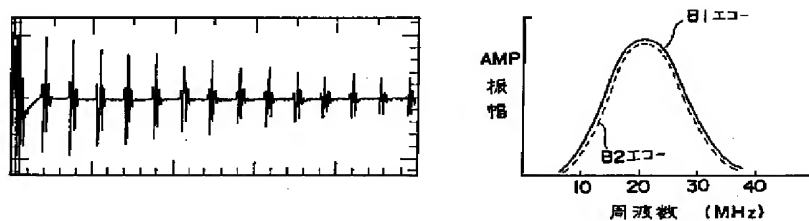
【図16】



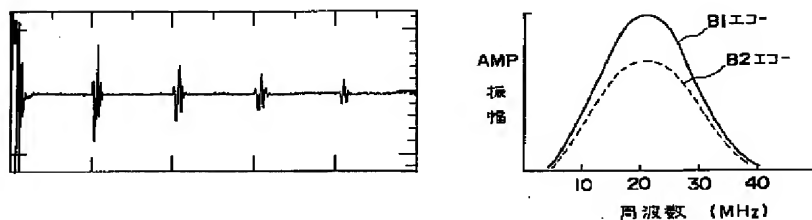
【図19】



【図23】



【図24】



フロントページの続き

(72)発明者 酒井 忠之
東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
本鋼管株式会社内

(72)発明者 長棟 章生
東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
本鋼管株式会社内

(72)発明者 高野 俊夫
東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
本鋼管株式会社内